



平成 21 年度 前期試験 試験問題

試験科目： 材料の強さ I

配 当： マテリアル科学コース 3 年
担当教員： 宇都宮 裕，左海 哲夫

試験時間： 平成 21 年 7 月 29 日
13：00-14：30

試験室： R1-311

注意事項

- ・ 試験開始の合図があるまで、本紙を開けてはいけません。
- ・ 電卓、関数電卓、ポケットコンピュータを使用しても構いません。
ただし、試験中の貸し借りはできません。
- ・ 教科書、参考書、ノート類を参照してはいけません。**持ち込みは禁止**です。
- ・ 裏表紙に**公式集**があります。必要があれば、これらの公式を用いてもよい。
- ・ 試験開始後、30 分間は退出できません。
- ・ 試験中の不正行為は厳重に取り締まり、発見した場合は正規の手続きを行います。
- ・ 本紙（問題）は、持ち帰って構いません。ただし、**著作権は出題者が保持**します。
インターネット上や書籍で公開される場合には、許可をとってください。
- ・ 全員分の解答用紙が回収されたことを確認後、解答例を希望者に配布します。

問 1

三次元デカルト座標系では応力は、以下の成分で表わされる。

$$\{\sigma_{ij}\} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$$

以下の問いに答えなさい。

- (1) 応力成分 σ_{ij} において添え字 i, j の持つ意味をそれぞれ簡単に答えなさい。
- (2) 平衡状態にあるとき、 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ となる理由を簡単に述べよ。
- (3) 静水圧を上記の応力成分を用いて表しなさい。
- (4) $\sigma'_{ii} = 0$ となることを証明しなさい。ただし、総和規約が適用されるものとする。
- (5) 上記の応力テンソルの第 1 不変量 J_1 と第 2 不変量 J_2 を求めなさい。

問 2

厚さ 1mm、幅 10mm、長さ 100mm の 2 枚の金属板がある。ただし、この金属板は、単軸降伏応力が 500MPa の Mises の降伏条件に従う剛完全塑性体であるものとする。

- (1) 1 枚の金属板を長さ方向に単軸引張を行ったところ、長さが 120mm となった。このとき、長さ方向のひずみを、公称ひずみと真ひずみの両方で求めなさい。ただし変形は一様であるとする。
- (2) (1) の単軸引張で生じる厚さ方向のひずみを真ひずみで答えなさい。
- (3) (1) の変形の相当ひずみを求めなさい。
- (4) この金属板の密度が 10Mg/m^3 、比熱が 500J/KgK 、塑性仕事の熱への変換効率を 100%として、(1) の変形による温度上昇を求めなさい。
- (5) もう 1 枚の板の幅 10mm に拘束したまま、厚さを減少させ、長さを増加させる。すなわち、平面ひずみ圧縮を行う。長さが何 mm となったとき、(4) と同じ温度となるか答えよ。ただし、密度、比熱、熱変換効率は(4)と同じとする。

問 3

平面ひずみ状態での前後方張力がない圧延加工をスラブ法で解析する。図 1 (a) は厚さ h_0 の板を半径 r のロールで圧延し、厚さを h_1 にするプロセスを模式的に表したものである。ここで、この板は、Mises の降伏条件に従い、そのせん断降伏応力を k とする。またロールと板の界面はクーロン摩擦に従い、その摩擦係数を μ とする。

(1) 紙面に垂直な方向の応力成分 σ_z は、平均応力と等しいことを証明しなさい。

(2) 圧延における「中立点」とは何か。簡単に説明しなさい。

(3) ロールバイト出口から入口に向かう距離を x とし、 x の位置での板厚を h とする。幾何学的な関係から x および h を、 r と θ の関数として表しなさい。

(4) 図(b)に示すように x の位置で幅 dx の微小要素を考える。ただし、この微小要素は中立点より上流に位置し、作用するロール面圧を p とする。また、微小要素の入側の高さは $h + dh$ 、出側の高さは h とする。

x 方向の釣り合い式 (Karman の式) を x , dx , h , p および σ_x を用いて表せ。

(5) y 方向の釣り合い式を p および σ_y を用いて書きなさい。

(6) 微小要素が中立点より下流にあるとき、(4) および (5) の釣り合い式は、それぞれどのように表されるか。

(7) 微小要素が中立点より上流にある場合について、Mises の降伏条件を p , k および σ_x を用いて表せ。

(8) 境界条件として、ロールバイト入口 (噛み込み点) における p および σ_x を求めなさい。

(9) 上記の連立解として得られる p の分布を模式的に描きなさい。また、 μ が増加すると、 p の分布はどのように変化するか簡単に説明しなさい。

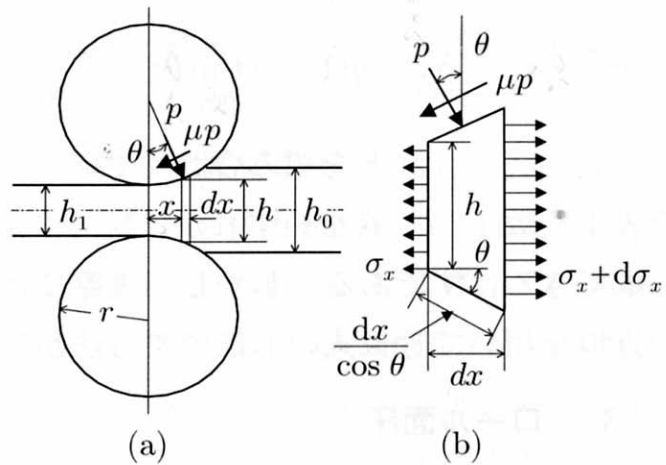


図1 圧延の模式図

問4

(1) 比例限と弾性限の違いを簡単に説明しなさい。

(2) 弾性変形と塑性変形の変形機構の違いを原子レベルで簡単に説明しなさい。

(3) 摩擦係数と摩擦比 (せん断摩擦係数) の違いについて簡単に説明しなさい。

(4) 「押し出し」と「押出し」の違いについて簡単に説明しなさい。

(5) 5月13日(水)に行われた家守伸正様の特別講演の題目、要旨、あるいは記憶に残ったことなどを簡単に記述しなさい。

公 式 集

1. 単位

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.80665 \text{ MN/m}^2 = 9.80665 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013.25 \text{ hPa}$$

2. Hooke の法則

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \{ \sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z) \} \quad , \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \{ \sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x) \} \quad , \quad \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \{ \sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y) \} \quad , \quad \gamma_{xz} = \frac{1}{G} \tau_{xy}$$

$$\text{または、} (\varepsilon_{ij}^e)' = \frac{1}{2G} \sigma'_{ij} \quad , \quad \varepsilon_v = \frac{\sigma_{ii}}{3K}$$

$$\text{ここで、} G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad , \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

3. Mises の降伏条件

$$Y = \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \}}$$

4. Tresca の降伏条件

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = k = \frac{Y}{2}$$

5. Levy-Mises の式

$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{3\bar{d\varepsilon}}{2\bar{\sigma}} \sigma'_{ij}$$

$$\text{ここで、} \bar{d\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} d\varepsilon_{ij}^p d\varepsilon_{ij}^p}$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{ \{ (d\varepsilon_x^p - d\varepsilon_y^p)^2 + (d\varepsilon_y^p - d\varepsilon_z^p)^2 + (d\varepsilon_z^p - d\varepsilon_x^p)^2 + \frac{3}{2} \{ (d\gamma_{xy}^p)^2 + (d\gamma_{yz}^p)^2 + (d\gamma_{zx}^p)^2 \} } }$$

6. 単軸引張のくびれ発生条件

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$$